


Verfahren zur Bremskraftregelung von Fahrzeugbremsanlagen vom Typ brake-by-wire Verfahren zur Bremskraftregelung von Fahrzeugbremsanlagen vom Typ brake-by-wire

Patent number: DE10154425
Publication date: 2003-05-15
Inventor: KUNZ GERALD [DE]; GURZAWSKI TIMO [DE]
Applicant: CONTINENTAL TEVES AG & CO OHG [DE]
Classification:
- **international:** B60T8/32; B60T8/18; B60T13/74
- **european:** B60T7/04B; B60T8/00B10F; B60T8/26D; B60T8/40J; B60T13/66
Application number: DE20011054425 20011106
Priority number(s): DE20011054425 20011106

Also published as:

 WO03039927 (A1)

Abstract of **DE10154425**

The invention relates to a brake-power control method for vehicle braking systems of the brake-by-wire type. In order to put into practice a brake operation intended (1) by the driver using wheel revolution information for characterizing a wheel brake potential, wheel brake pressures or tensile stresses are controlled individually for the wheel in such a manner that the desired deceleration (z) is brought about.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 54 425 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
B 60 T 8/32
B 60 T 8/18
B 60 T 13/74

②1 Aktenzeichen: 101 54 425.1
②2 Anmeldetag: 6. 11. 2001
④3 Offenlegungstag: 15. 5. 2003

DE 101 54 425 A 1

⑦1 Anmelder:
Continental Teves AG & Co. oHG, 60488 Frankfurt,
DE

⑦2 Erfinder:
Kunz, Gerald, 55294 Bodenheim, DE; Gurzawski,
Timo, 63533 Mainhausen, DE

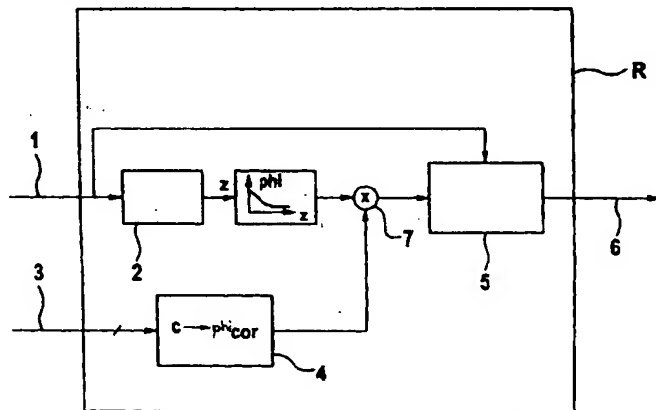
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 198 25 278 A1
DE 196 51 460 A1
DE 101 16 353 A1
DE 44 38 222 A1
DE 44 17 935 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur Bremskraftregelung von Fahrzeugbremsanlagen vom Typ brake-by-wire

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bremskraftregelung von Fahrzeugbremsanlagen vom Typ brake-by-wire. Es wird zur Umsetzung eines fahrerseitig eingesteuerten Bremswunsches unter Verwendung von Raddrehinformationen zur Charakterisierung eines Radbremspotentials eine radindividuelle Regelung von Radbremsdrücken oder Zuspannkräften unter Beachtung des Radbremspotentials derart vorgenommen, daß sich die gewünschte Verzögerung einstellt.



DE 101 54 425 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bremskraftregelung von Fahrzeugbremsanlagen vom Typ brake-by-wire.

[0002] Es ist bei konventionellen, hydraulischen Fahrzeugbremsanlagen bekannt, eine Bremskraftverteilung (EBV) mit elektronischen Mitteln vorzunehmen, wobei der Bremsdruck an der Hinterachse mit Ventilvorrichtungen – für beide Räder gleich – abgesenkt oder gehalten wird. Es versteht sich, daß dies in den Grenzen konkurrierender, elektronischer Fahrsicherheitssysteme oder Fahrstabilitätssysteme, wie beispielsweise ABS oder ESP, erfolgt, welche unterschiedliche Prioritätsgrade für einen Regelungseingriff aufweisen können.

[0003] Aus der DE 44 38 222 A1 ist ein Verfahren zur Regelung der Bremsanlage eines Fahrzeugs bekannt, wobei die Signale wenigstens eines Achslastsensors herangezogen werden, um eine Verteilung von Bremskräften vorzunehmen.

[0004] Bei brake-by-wire-Fahrerassistenzsystemen, wie beispielsweise einer elektrohydraulischen Bremse (EHB), ist der Fahrer von dem Bremssystem entkoppelt. Ein Verzögerungswunsch wird auf elektronische Weise sensiert und ausgehend davon eine Fahrzeugbremskraft errechnet, welche elektronisch geregelt von dem Bremssystem umgesetzt wird (brake by wire).

[0005] Der Radbremsdruck wird völlig unabhängig von der Fahrerfußkraft erzeugt. Eine Simulatorvorrichtung mit geeigneter Kraft-Weg-Kennlinie ersetzt die fahrerseitigen Bremsreaktionskräfte.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein auf den aktuellen Radaufstandskräften beruhendes, verbessertes Verfahren zur Bremskraftregelung von Brake-by-wire-Bremsanlagen bereitzustellen. Nachteile bekannter Regelverfahren sollen vermieden werden.

[0007] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zur Umsetzung eines fahrerseitig eingesteuerten Bremswunsches unter Verwendung von Raddrehinformationen zur Charakterisierung eines Radbremspotentials eine radindividuelle Regelung von Radbremsdrücken oder Zuspännkräften unter Beachtung des Radbremspotentials derart vorgenommen wird, daß sich die gewünschte Verzögerung einstellt. Ein wesentlicher Effekt der Erfindung ist eine radindividuelle Bremskraftregelung. Ein – beispielsweise infolge Niedrigreibwertpaarung oder infolge geringer Radaufstandskräfte (wegen dynamischer Lastverlagerung) – geringes Bremspotential einzelner Räder, wird im Rahmen der Bremskraftverteilung durch entsprechend verstärkte Abbremsung von anderen Rädern mit hohem Bremspotential kompensiert.

[0008] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Radschlupfdifferenz zwischen unterschiedlichen Rädern und/oder Achsen ermittelt, ausgehend davon ein Korrekturfaktor c , betreffend einen vorbestimmten Hinterachsanteil an der Gesamtbremskraft errechnet, und unter Berücksichtigung eines anhand des Korrekturfaktors c korrigierten Hinterachsanteils eine für jedes Rad individuelle Bremskraftregelung vorgenommen. Die radindividuelle Bremskraftregelung unter Berücksichtigung der Radaufstandskräfte erlaubt eine verbesserte Ausnutzung des Radbremspotentials bis an die physikalische Grenze (Stabilitätsgrenze), weil beispielsweise dynamische Lastverlagerungseffekte einbezogen werden. Bei einer abgewandelten Ausführungsform der Erfindung wird anstelle der Schlupfdifferenz eine Radgeschwindigkeitsdifferenz zur Ermittlung des Korrekturfaktors herangezogen.

[0009] In Weiterbildung der Erfindung wird die Brems-

kraft jedes Rades in Abhängigkeit von dem jeweiligen Fahrzustand individuell geregelt. Eine Fahrzustandserkennung kann durch Radschlupfvergleich erfolgen. Dies ermöglicht ein verbessertes Fahrverhalten im Grenzbereich.

[0010] Vorzugsweise wird die Radschlupfdifferenz gewissermaßen achsweise unter Verwendung der Signale von Raddrehzahlsensoren ermittelt, so daß keine gesonderte Sensorik (außer der für eine ABS-Bremsanlage unerläßlichen Sensorik) erforderlich ist. Die Verwendung von Radschlupfdifferenzwerten ist mit dem Vorteil verbunden, daß alleine aus den gewonnenen Signalen auf eine Kurvenfahrt geschlossen werden kann. Ein gesonderter Querschleunigungssensor oder Gierratensensor ist nicht zwingend erforderlich.

[0011] Ein korrigierter Hinterachsanteil an dem Gesamtbremsmoment des gebremsten Fahrzeugs wird mittels Multiplikation eines idealen Hinterachsanteils mit dem Korrekturfaktor c errechnet. Für Schlupfdifferenzwerte 0,5 lautet die iterative Formel zur Ermittlung des Korrekturfaktors c :

$$c_{n+1} = c_n - 0,01 \text{ und}$$

für Schlupfdifferenzwerte $\leq -0,5$ lautet die Formel für die iterative Ermittlung des Korrekturfaktors:

$$c_{n+1} = c_n + 0,01.$$

[0012] Bei schlupfenden Hinterrädern wird der Korrekturfaktor c anhand eines konstanten Faktors (hier 0,01 je Loop) verringert, um den Hinterachsanteil zu reduzieren. Bei schlupfenden Vorderrädern erfolgt umgekehrt eine Erhöhung des Korrekturfaktors zur Erhöhung des Hinterachsanteils. Startwert für eine Regelschleife (Loop) ist jeweils $c_0 = 1$.

[0013] Falls die Korrekturfaktorermittlung auf der Radgeschwindigkeitsdifferenz beruht, wird eine Korrekturfaktorkorrigierung vorgenommen, wenn die ermittelte Geschwindigkeitsdifferenz in dem Bereich $\geq 0,5$ oder $\leq -0,5$ liegt.

[0014] Um das Regelverhalten zu verbessern, wird zusätzlich der Gradient der Schlupfdifferenz oder der Gradient der Radgeschwindigkeitsdifferenz gebildet, und bei erfüllter Schlupf- oder Geschwindigkeitsbedingung und einem Gradienten > 0 die Inkrementation (Erhöhung) und bei erfüllter Schlupf- oder Geschwindigkeitsbedingung und einem Gradienten < 0 die Dekrementation (Reduktion) des Korrekturfaktors c vorgenommen, um den Hinterachsanteil zu beeinflussen.

[0015] Um die Fahrsicherheit weiter zu verbessern, wird die iterationsweise Ermittlung des Korrekturfaktors deaktiviert, wenn ein höherrangiger Regelungseingriff, wie beispielsweise ABS, ESP (Fahrstabilitätsregelung) oder BA (Bremsassistent), bevorsteht. Nach Abschluß des höherrangigen Regelungseingriffs erfolgt eine Neuinitialisierung des Systems auf Basis von $c_0 = 1$.

[0016] Im folgenden wird die Erfindung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

[0017] Fig. 1 eine Kennlinie eines idealen Hinterachsanteils am Gesamtbremsmoment in Abhängigkeit von der Fahrzeugverzögerung bei leerem Fahrzeug und

[0018] Fig. 2 ein stark vereinfachtes Ablaufschema zur Verdeutlichung des Reglers.

[0019] Um einen Bremswunsch zu äußern, betätigt ein Fahrzeugführer einen Sollwertgeber einer brake-by-wire-Bremsanlage. Der Fahrer ist von dem Bremssystem entkoppelt. Ein Verzögerungswunsch wird auf elektronische Weise sensiert und ausgehend davon eine Fahrzeugbremskraft errechnet, welche elektronisch geregelt von dem Bremssystem umgesetzt wird. Ausgehend davon wird ein Radbrems-

druck oder eine Zuspannkraft völlig unabhängig von der Fahrerfußkraft erzeugt. Eine Simulatorvorrichtung mit geeigneter Kraft-Weg-Kennlinie ersetzt Bremsreaktionskräfte. [0020] Zur Umsetzung eines fahrerseitig eingesteuerten Bremswunsches wird zunächst unter Verwendung von Raddrehinformationen das individuelle Bremspotential der Räder ermittelt. Dafür wird beispielsweise der Radschlupf herangezogen. Je nach quantitativer Definition ist das Bremspotential eines ggf. in den Schlupf übergehenden oder prozentual hoch im Schlupf laufenden Rades (beispielsweise 5% Schlupf oder bei Off-Road-Einsatz entsprechend mehr) erschöpft. In Abhängigkeit von dem Bremspotential (Schlupfwert) erfolgt eine Bremskraftregelung und Verteilung auf die einzelnen Räder, so daß ein stabiler Fahrbetrieb unter Berücksichtigung der Radaufstandskräfte gewährleistet ist.

[0021] Fig. 1 zeigt einen idealen Hinterachsbremsanteil ϕ in Relation zu der Fahrzeugverzögerung bei unbelastetem – leerem – Fahrzeugs. Wie zu ersehen ist, fällt der Hinterachsanteil ϕ zur Vermeidung eines Überbremsens (infolge geänderter Radaufstandskräfte) an der Hinterachse bei steigender Verzögerung linear ab, um, beginnend mit einem bestimmten Bremsverzögerungswert (ca. 1,3 g), konstant zu bleiben. Dadurch wird sichergestellt, daß ein Hinterachsbremskreis eine ausreichende Verzögerung zur Verfügung stellen kann, auch wenn ein Vorderachsbremskreis ausfallen sollte. Die in Fig. 1 dargestellte Kennlinie wird für die Berechnung herangezogen, die nachstehend näher erläutert werden soll.

[0022] Stark vereinfacht wird in einem Regler R, wie Fig. 2 zu entnehmen ist, ein einen Bremswunsch repräsentierendes Signal 1 einem Konverter 2 zugeführt, um die nachgefragte Verzögerung z zu ermitteln. Der aus der gegebenen Verzögerung z resultierende, ideale Hinterachsanteil ϕ (ϕ_i) bei leerem Fahrzeug ergibt sich aus der niedergelegten Kennlinie gemäß Fig. 1. Auf Basis von ermittelten Radschlupfdifferenzsignalen oder Radgeschwindigkeitsdifferenzsignalen 3 und ggf. zusätzlichen, nachstehend genauer beschriebenen Berechnungen (Gradient) wird bei 4 ein Korrekturfaktor c und infolgedessen ein korrigierter Hinterachsanteil ϕ_{cor} ($\phi_{i,cor}$) errechnet. Auf dieser Basis wird bei 5 ein Achs-/Radbremsmoment ermittelt und als Signal 6 weiterverarbeitet. Im Einzelnen geschieht die Korrekturfaktorermittlung wie folgt.

[0023] In einem ersten Schritt wird eine Schlupfdifferenz $slip_diff$ gebildet. Dies erfolgt vorzugsweise durch achsweise Betrachtung, wobei die Schlupfdifferenzwerte der Vorderräder und der Hinterräder jeweils achsweise addiert und voneinander abgezogen werden. Die ermittelten Schlupfdifferenzsignale werden gefiltert, um Fehler zu eliminieren. Wenn ein ansteigender oder fallender Gradient $slip_diff_grad$ vorliegt, erfolgt in Abhängigkeit von der Größe der Schlupfdifferenz $slip_diff$ die Ermittlung eines Korrekturfaktors c . Zu Loopbeginn (Beginn einer Iteration), Initialisierung oder bei ungehremtem Fahrzeug wird ein Startwert (Initialisierungswert) von $c_0 = 1$ gesetzt. Je nach dem Ergebnis der Schlupfbedingung wird der Korrekturfaktor c bei jeder Iterationschleife n um einen konstanten Faktor, gemäß der bevorzugten Ausführungsform einem konstanten Faktor in Höhe von 0,01, vergrößert oder verringert. Wenn nicht gleichzeitig die Schlupf- oder Geschwindigkeitsbedingung und die Gradientenbedingung erfüllt sind, bleibt der Korrekturfaktor c konstant. Sodann wird der Korrekturfaktor c mit dem eingangs beschriebenen, anhand einer Kennlinie niedergelegten, idealen Hinterachsanteil ϕ bei 7 multipliziert, um einen korrigierten Hinterachsanteil ϕ_{cor} zu ermitteln. Anschließend erfolgt die Bremsmomentenverteilung beziehungsweise bei feststehender Fahrzeuggeometrie die Bremskraftverteilung anhand folgender For-

mel für die Vorderachse:

$$M_{b_{VL, VR}} = (1 - \phi_{cor}) \cdot M_{b_{ges}}/2$$

5 und für die Hinterachse:

$$M_{b_{HL, HR}} = \phi_{cor} \cdot M_{b_{ges}}/2,$$

wobei:

$$\phi_{cor} = c_n \cdot \phi$$

und

$$15 \quad slip_diff = (slip_{HL} + slip_{HR}) - (slip_{VL} + slip_{VR})$$

mit

$$c_{n+1} = c_n - 0,01 \text{ für } slip_diff \geq 0,5 \text{ und } slip_diff_grad \geq 0,$$

$$c_{n+1} = c_n + 0,01 \text{ für } slip_diff \leq -0,5 \text{ und } slip_diff_grad \leq 0$$

mit dem Startwert:

$$25 \quad c_0 = 1 \text{ zu Regelbeginn.}$$

[0024] Die Erfindung erlaubt im Rahmen eines EHB-Systems eine radindividuelle Einsteuerung von Bremsdrücken, so daß das jeweilige Bremspotential eines Rades innerhalb der physikalischen Grenzen weitgehend ausgenutzt wird. Dabei erfolgt ausgehend von einem fahrerseitig eingesteuerten Bremswunsch ein Bremsdruckaufbau an den einzelnen Rädern, welcher einerseits das individuelle Bremspotential (definiert durch die Stabilitätsgrenze) der Räder berücksichtigt, und wobei andererseits die Summe aller Bremskräfte bzw. Bremsmomente die gewünschte Verzögerung einstellt. Dies ermöglicht eine Kompensation, denn wenn sich ein oder mehrere Räder aus irgendwelchen Gründen im Schlupfzustand befinden sollten, können andere Räder (innerhalb der physikalischen Grenzen) entsprechend höher beansprucht werden. Folglich wird eine an den jeweiligen Betriebszustand angepasste Bremskraftverteilung vorgenommen.

[0025] Wenn ein höherrangiger Regelungseingriff, wie beispielsweise eine ABS-Regelung oder eine ESP-Regelung, bevorstehen, wird die iterationsweise Ermittlung des Korrekturfaktors c deaktiviert.

[0026] Die Bremskraftregelung wird radindividuell unter Ausnutzung von Raddrehinformationssignalen vorgenommen. Bei einer Ausführungsform der Erfindung wird der Fahrzustand und das daraus resultierende Bremspotential, ausgehend von Schlupfdifferenzwerten der Räder, erkannt, die in die Verteilungsberechnung eingehen.

[0027] Bei einer abgewandelten Ausführungsform der Erfindung wird die Korrekturberechnung, ausgehend von Radgeschwindigkeitsdifferenzsignalen Δv , durchgeführt. Zu deren Berechnung werden die Radgeschwindigkeiten der Hinterachse v_{HL} (links) und v_{HR} (rechts) addiert und von den addierten Radgeschwindigkeiten der Vorderachse v_{VL} (links) und v_{VR} (rechts) abgezogen. Für die Inkrementation und Dekrementation des Korrekturfaktors gilt:

$$c_{n+1} = c_n - 0,01 \text{ für } \Delta v \geq 0,5 \text{ mit } \Delta v_grad \geq 0,$$

$$65 \quad c_{n+1} = c_n + 0,01 \text{ für } \Delta v \leq -0,5 \text{ und } \Delta v_grad \leq 0$$

mit $c_0 = 1$ für Regelbeginn.

[0028] Sowohl bei der Ausführungsform mit radschlupf-basierter Berechnung (slip_diff), als auch bei der radgeschwindigkeitsbasierten Berechnung (Δv) ist zur Verbesserung des Regelverhaltens eine Gradientenbildung (slip_diff_grad/ Δv _grad) vorgesehen, wobei eine Änderung des Korrekturfaktors c nur für den Fall vorgenommen wird, wenn gleichzeitig die Radgeschwindigkeits- oder Radschlupfbedingung erfüllt ist und der Gradient dieser Bedingung \geq oder ≤ 0 ist. Falls zwar die Geschwindigkeits- oder Schlupfbedingung vorliegt, aber die Gradientenbedingung nicht erfüllt ist, bleibt der zuletzt ermittelte Korrekturfaktor c wirksam.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bremskraftregelung von Fahrzeugbremsanlagen vom Typ brake-by-wire, wobei zur Umsetzung eines fahrerseitig eingesteuerten Bremswunsches unter Verwendung von Raddrehinformationen zur Charakterisierung eines Radbremspotentials eine radindividuelle Regelung von Radbremsdrücken oder Zuspännkräften unter Beachtung des Radbremspotentials derart vorgenommen wird, daß sich die gewünschte Verzögerung einstellt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Radschlupfdifferenz slip_diff oder eine Radgeschwindigkeitsdifferenz Δv zwischen unterschiedlichen Rädern und/oder Achsen ermittelt wird, ausgehend von der Radschlupfdifferenz slip_diff oder der Radgeschwindigkeitsdifferenz Δv ein Korrekturfaktor c , betreffend einen vorbestimmten Hinterachsanteil ϕ an der Gesamtbremskraft errechnet wird, und unter Berücksichtigung eines anhand des Korrekturfaktors c korrigierten Hinterachsanteils ϕ_{cor} eine für jedes Rad individuelle Bremskraftregelung erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bremskraft jedes Rades in Abhängigkeit von dem jeweiligen Fahrzustand individuell geregelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Radschlupfdifferenz slip_diff aus der Bedingung:

$$\text{slip_diff} = (\text{slip}_{HL} + \text{slip}_{HR}) - (\text{slip}_{VL} + \text{slip}_{VR})$$

ermittelt wird, wobei slip_V einen Radschlupf der Vorderachse und slip_H einen Radschlupf der Hinterachse und der Index L sowie R Fahrzeugseiten kennzeichnet.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß für die Errechnung des Korrekturfaktors c die Bedingung:

$$c_{n+1} = c_n - 0,01 \text{ für } \text{slip_diff} \geq 0,5,$$

$$c_{n+1} = c_n + 0,01 \text{ für } \text{slip_diff} \leq -0,5 \text{ und}$$

$$c_0 = 1 \text{ zu Regelbeginn}$$

herangezogen wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Radgeschwindigkeitsdifferenz Δv aus der Bedingung:

$$\Delta v = (v_{VL} + v_{VR}) - (v_{HL} + v_{HR})$$

ermittelt wird, wobei v_V eine Radgeschwindigkeit der Vorderachse und v_H eine Radgeschwindigkeit der Hin-

terachse und der Index L sowie R Fahrzeugseiten kennzeichnet.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß für die Berechnung des Korrekturfaktors c die Bedingung:

$$c_{n+1} = c_n = 0,01 \text{ für } \Delta v \geq 0,5,$$

$$c_{n+1} = c_n + 0,01 \text{ für } \Delta v \leq -0,5 \text{ und}$$

$$c_0 = 1 \text{ zu Regelbeginn}$$

herangezogen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 4 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Gradient der Schlupfdifferenz slip_diff oder der Gradient der Geschwindigkeitsdifferenz Δv ermittelt wird, und nur für den Fall, daß der ermittelte Gradient einen bestimmten Wert über- oder unterschreitet, eine Inkrementation oder Dekrementation des Korrekturfaktors c vorgenommen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 5 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß das radindividuelle Bremsmoment M_b eines Rades aus der Bedingung:

$$M_{b\ vL\ vR} = (1 - \phi_{cor}) \cdot M_{b\ ges}/2$$

und

$$M_{b\ HL\ HR} = \phi_{cor} \cdot M_{b\ ges}/2$$

mit

$$\phi_{cor} = c_n \cdot \phi$$

und mit ϕ_{cor} für den korrigierten Hinterachsanteil an dem Gesamtbremsmoment des gebremsten Fahrzeugs, c_n als Korrekturfaktor und ϕ als idealen Hinterachsanteil eines leeren Fahrzeugs ermittelt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 5 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Korrekturfaktor c iterationsweise ermittelt wird.

11. Verfahren nach 10, dadurch gekennzeichnet, daß die iterationsweise Ermittlung des Korrekturfaktors c deaktiviert wird, wenn ein höherrangiger Regelungseingriff bevorsteht.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1

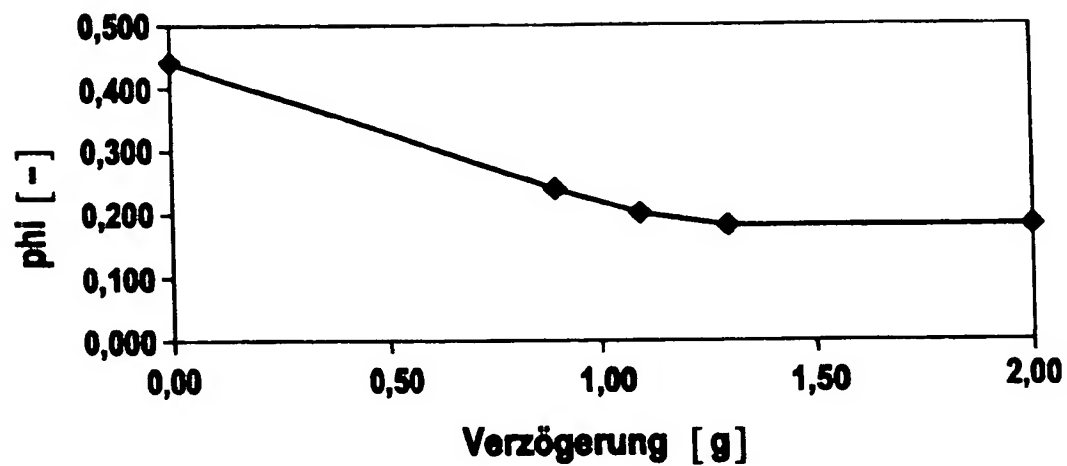


Fig. 2

